

SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET
Sveučilišni preddiplomski studij politehnike

ZAVRŠNI RAD

**TRANZICIJA SA KONVENCIONALNIH NA
NAPREDNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE**

Rijeka, rujan 2018.

Josip Popčević

SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET
Sveučilišni preddiplomski studij politehnike

ZAVRŠNI RAD

**TRANZICIJA SA KONVENCIONALNIH NA
NAPREDNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rijeka, rujan 2018.

Josip Popčević

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Sveučilište u Rijeci Odsjek za politehniku	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. Broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Josip Popčević

Mat.broj:

Naslov: Tranzicija sa konvencionalnih na napredne elektroenergetske mreže

Opis zadatka: Opisati koncept naprednih mreža, usporediti ih sa konvencionalnim sustavom, te predložiti optimalan način tranzicije u Republici Hrvatskoj sa postojećeg u napredni sustav.

Zadatak zadao:

Izv.prof.dr.sc. Lidija Runko Lutteberger, dipl. ing.

Rok predaje rada:

Predsjednik povjerenstva:

Doc.dr.sc. Damir Purković

SADRŽAJ

I. SAŽETAK	I
II. SUMMARY	II
III. POPIS SLIKA	III
1. UVOD	1
2. KONCEPT NAPREDNIH MREŽA	2
2.1. Djelovanje naprednih mreža	2
2.2. Primjeri arhitekture naprednih mreža	3
2.2.1. ElectriNetSM.....	3
2.2.2. IntelliGridSM.....	3
3. ENERGIJA I TRŽIŠTE NAPREDNIH MREŽA	5
3.1. Energetska učinkovitost	5
3.2. Financijski utjecaj.....	6
3.3. Implementacija naprednih mreža na tržište.....	7
4. TRANZICIJA SA KONVENCIONALNIH NA NAPREDNE MREŽE	9
4.1. Napredak energetske sustava	9
4.2. Savršen energetske sustav – napredna mreža	9
4.3. Prednosti naprednih mreža	10
5. TEHNOLOGIJE NAPREDNIH MREŽA	11
5.1. Pametna električna vozila.....	11
5.2. Inteligentni elektronički uređaji.....	11
5.3. Senzori.....	12
5.4. Pametna brojila	12
5.5. Pametne trafostanice.....	13
6. TRANZICIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ	14
6.1. Napredne mreže u Europi	14
6.2. Europski elektroenergetski sustav	15
6.3. Energetski potencijal u Republici Hrvatskoj	15
6.4. Postojeća elektroenergetska mreža u RH	16
6.5. Napredne mreže u RH	19
6.6. Plan razvoja Hrvatske mreže	20
7. ZAKLJUČAK.....	21
8. LITERATURA	22

I. SAŽETAK

U radu je opisan koncept naprednih mreža. Prikazana je usporedba između konvencionalnih i naprednih mreža, te način na koji se može preći iz konvencionalne u naprednu mrežu. Nadalje, opisane su tehnologije naprednih mreža kao što su pametna brojila, električni automobili, pametne trafostanice, te kako na njih utječu parametri kao što su energija, financije i tržište. U radu je objašnjena i napredna mreža u Republici Hrvatskoj, te njezina energetska infrastruktura. Gospodarstvo i ekologija su važni čimbenici kako bi se ostvarile opisane tehnologije naprednih mreža, a svaki sudionik koji sudjeluje treba raditi kako bi se takva mreža dovela do savršenstva.

KLJUČNE RIJEČI

Napredna mreža, energija, električna vozila, pametna brojila, senzori, tranzicija, energetska mreža, razvoj Hrvatske

II. SUMMARY

The concept of advanced networks is described in the paper. A comparison between conventional and advanced networks is shown, and the way it can be migrated from conventional to advanced network. Furthermore, various advanced network technologies such as smart meters, electric cars, smart transformers, and how they are affected by various parameters such as energy, finance, and the market are described. The paper presents an advanced network in the Republic of Croatia and its energy infrastructure. The economy and ecology are important factors in achieving the advanced network technologies described, and every participant involved should work to bring such a network into perfection.

KEYWORDS

Advanced network, energy, electric vehicles, smart meters, sensors, transition, energy grid, Croatia's development

III. POPIS SLIKA

Slika 1: Napredna mreža [2].

Slika 2: Prikaz novih tehnologija naprednih mreža [4].

Slika 3: ElectriNetSM arhitektura naprednih mreža [7].

Slika 4: Grafički prikaz ulaganja u napredne mreže [9].

Slika 5: Model dobavljač i kupac [11].

Slika 6: Mediji – televizija, radio, novine i internet [12].

Slika 7: Razvoj naprednih mreža u Europi [21].

Slika 8: Energetski potencijal u RH [24].

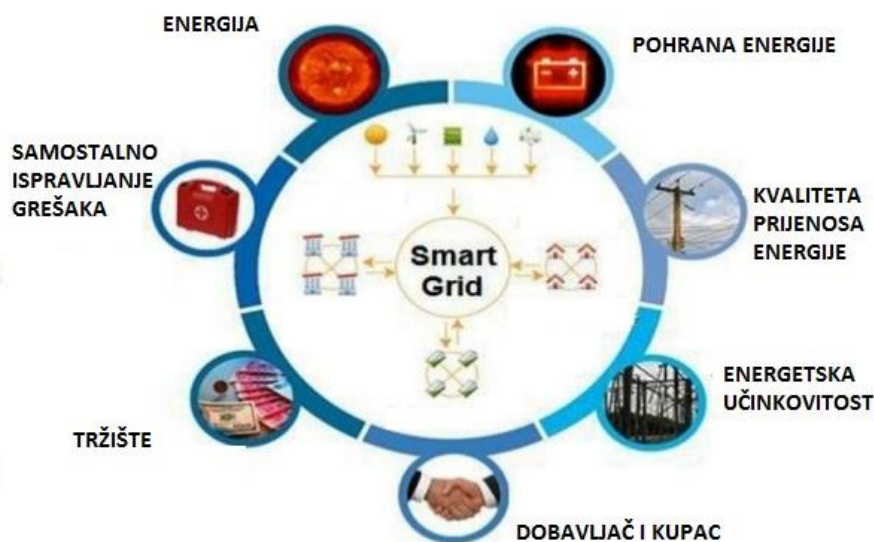
Slika 9: Stanje hrvatskog elektroenergetskog sustava krajem 2016. Godine [26].

Slika 10: Udjeli transformacija u RH [29].

Slika 11: Prijenosna mreža RH [30].

1. UVOD

Dobava električne energije često se navodi kao najveći i najsloženiji stroj ikada izgrađen. Sastoji se od žica, kabela, tornjeva, transformatora, prekidača električne struje i mnogih drugih različitih dijelova. U 1960 – im godinama industrija je pokrenula korištenje računala za nadzor kontrole elektroenergetskog sustava. Međutim, sustav isporuke električne energije gotovo je potpuno mehanički sustav, uz skromnu upotrebu senzora, minimalno korištenje elektronske komunikacije i gotovo bez elektroničke kontrole. U posljednjih 25 godina, gotovo su sve ostale industrije u zapadnom svijetu modernizirane samo pomoću senzora, komunikacija i računala. Za te industrije došlo je do ogromnih poboljšanja u produktivnosti, učinkovitosti, kvaliteti proizvoda i usluga, te ekološkog učinka. Ukratko, napredna mreža je korištenje senzora, komunikacija, računalne sposobnosti i kontrole u nekom obliku kako bi se poboljšala ukupna funkcionalnost sustava za isporuku električne energije što je prikazano na slici 1. Konvencionalni sustav postaje pametan tako što će osjetiti, komunicirati, primjenjivati inteligenciju, vježbati kontrolu i povratne informacije, te se kontinuirano prilagođavati. Energetski sustav dopušta nekoliko funkcija koje omogućuju optimizaciju kombinacija - upotrebe rasutog stvaranja i skladištenja, prijenos, distribuciju, distribuirane resurse i krajnje potrošačke svrhe prema ciljevima koji osiguravaju pouzdanost i optimiziraju ili smanjuju potrošnju energije, ublažuju utjecaj na okoliš, upravljaju imovinom te umanjuju troškove.



Slika 1: Napredna mreža [2].

2. KONCEPT NAPREDNIH MREŽA

2.1. Djelovanje naprednih mreža

Puno je učinjeno kako bi se ublažili gubici energetske sustava – osobito u nastojanju da se osiguraju nove tehnologije koje mogu pomoći da električna energija bude pouzdanija, te kako bi se održala visoka tehnologija u gospodarstvu koje se djelomice temelji na korištenju energetske osjetljive opreme. Mnoge od tih tehnologija sada su spremne za široku implementaciju, dok druge tek sada ulaze u demonstracije. Međutim, vjetroelektrane i solarni resursi se nalaze daleko od urbanih sredina. Nova prijenosna infrastruktura mora biti izgrađena za dodavanje ovih resursa u nacionalni portfelj proizvodnje. Potrebno je proširiti prijenos i primjenjivati nove tehnologije koje su prikazane na slici 2 kako bi se uskladila suradnja između vlade i industrije. Nužno je poduzeti šest koraka kako bi se ubrzalo stvaranje naprednih mreža koje će omogućiti širenje obnovljivih izvora energije i smanjiti rizik od regionalnih gubitaka – do kojih će doći ako se ne poduzmu sljedeći koraci[3]:

1. Izgraditi nove generacije prijenosnih postrojenja na regionalnoj osnovi koje su međusobno u koordinaciji. Bez takve koordinacije lokalne cijene mogu biti izrazito visoke.
2. Implementirati tehnologije koje su neophodne za operacije na mrežama širokog područja.
3. Prakticiranje operativnih sustava u uvjetima u kojima softver za procjenu sigurnosti sugerira da bi možda trebalo ponovno razmotriti gubitke energetske sustava, te kako da se oni ne ponove.
4. Mrežni rad mora biti usklađen s energijom na tržištu, tako da oni ne bi samo smanjili rizik od više gubitaka, nego bi neutralizirali porast cijena.
5. Poboljšati hitne, odnosno nužne operacije. Potrebne su jasne linije ovlasti za učinkovitu intervenciju u slučaju nužde.



Slika 2: Prikaz novih tehnologija naprednih mreža [4].

2.2. Primjeri arhitekture naprednih mreža

Razvoj arhitekture naprednih mreža omogućuje budućim razvojnim programerima pristup velikom broju resursa ili rješenja za razvijanje distribuiranih softverskih aplikacija, uzimajući u obzir osnovne koncepte interoperabilnosti i podrške za više operativnih kriterija. Svrha je pružiti resurs koji može poslužiti za razumijevanje, implementaciju i izgradnju nove generacije softverskih sustava koji se primjenjuju za transakcijske sustave električne energije. Novi lanac energije nastaje kao posljedica novih tehnologija i novih regulatornih okruženja koja potiču konkurentna tržišta što se može vidjeti u primjerima kao što su ElectriNetSM i IntelliGridSM.

2.2.1. ElectriNetSM

ElectriNetSM je arhitektura naprednih mreže koja je ujedno i vodeći koncept za prijelaz u naprednu mrežu. Kao što je prikazano na slici 3. koristi niske emisije ugljika, lokalne elektroenergetske mreže i električnu energiju kao transport. ElectriNetSM prepoznaje evoluciju elektroenergetskog sustava, te ga povezuje sa složenim i interaktivnim sustavom mreža energije, telekomunikacija, interneta i elektroničkih trgovinskih aplikacija. Istovremeno, kretanje prema konkurentnijem tržištu električne energije zahtijeva sofisticiranu infrastrukturu za podršku brojnim informacijama, financijskim i fizičkim transakcijama između nekoliko članova električnog sustava. To je ujedno i lanac koji nadopunjuje ili zamjenjuje vertikalno integrirani alat. ElectriNetSM, treba pružiti integraciju mnogih različitih sustava i komponenti, te omogućiti upravljanje transakcijama koje proizlaze iz usluga konkurentne ponude koje se pojavljuju u restrukturiranim komunalnim sredinama. ElectriNetSM pruža novu perspektivu o tome kako upravljati transakcijama s obzirom na prirodu postojećih i novih distribuiranih, heterogenih komunikacijskih i kontrolnih mreža. Ova perspektiva temelji se na kombinaciji distribuiranih računalnih tehnologija takvih kao što su web usluge, te semantički web i inteligentni sustavi[5].

2.2.2. IntelliGridSM

Kao što je gore navedeno, današnja infrastruktura snage je neadekvatna za zadovoljavanje potreba i očekivanja potrošača. Oštar pad investicija u infrastrukturu tijekom posljednjeg desetljeća već je ostavio dijelove elektroenergetskog sustava osjetljive na slabu kvalitetu energije i na tržišna odstupanja. Potrebna je značajna nadogradnja samo da bi se usluga vratila na razinu pouzdanosti i kvalitete koja se zahtijeva i očekuje od potrošača.

Kod IntelliGridSM arhitekture automatizacija treba igrati ključnu ulogu u isporuci visoke razine snage u cijelom lancu električne energije. To također znači inteligentno napajanje, te samooptimiziranje sustava za isporuku koji automatski brzo anticipira i reagira na poremećaje koji umanjuju ili uklanjaju ukupno ispadanje električne energije. Putem dvosmjernog portala koji danas zamjenjuje električni mjerač, potrošači imaju mogućnost povezati se s pametnim sustavom napajanja. To treba dovesti do smanjenja troškova, boljih odluka, komunikacija i mrežnih signala kako bi se učinkovito koristila veza naprijed-natrag između potrošača i pružatelja usluge. Sustav je u mogućnosti ponuditi širok spektar usluga, uključujući vrhunske mogućnosti napajanja, praćenja kvalitete električne energije u stvarnom vremenu, i još mnogo toga [6].



Slika 3. ElectriNetSM arhitektura naprednih mreža [7].

3. ENERGIJA I TRŽIŠTE NAPREDNIH MREŽA

3.1. Energetska učinkovitost

Kako se povećava interes za povećanjem učinkovitosti električne energije, praktičari i drugi zainteresirani za energetska učinkovitost propituju da li bi se opseg energetske učinkovitosti trebao proširiti na električnu uporabu u sustavima isporuke snage i u elektranama. Zanimljivo, ta dva aspekta učinkovitosti se spominju u svakoj od inicijativa naprednih mreža. Poboljšanja elektrane u pogledu potrošnje električne energije mogu uključivati metode za poboljšanje ukupne učinkovitost elektrane. Poboljšanje sustava isporuke može uključivati korištenje učinkovitih transformatora i boljeg napona, te reaktivnih kontrola snage. Svaki od sustava ima izravno povezan i informiran pogled na naprednu mrežu. Jedan element napredne mreže koji se odnosi na učinkovitu proizvodnju električne energije ima veze s praćenjem i procjenom stanja. U praćenju i procjeni stanja, senzori i komunikacije se koriste za poboljšanje performansi sustava i povezivanje tih performansi s povijesnim podacima, teorijskim modelima i usporedivim performansama postrojenja. Ciljevi su optimiziranje performansi i upravljanje održavanjem.

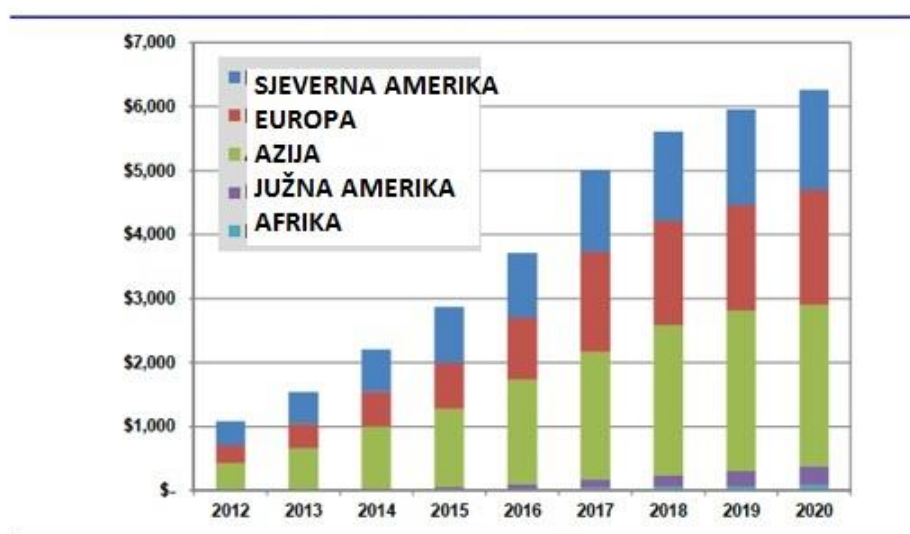
Struja se koristi u elektranama na nekoliko načina. Naravno, onovni je korištenje motora koji pokreću pumpe, ventilatore i transportne trake. Ostale namjene uključuju informacijsku tehnologiju (računala, komunikacije i uredska oprema), rasvjetu, grijanje, grijanje vode za kućanstvo, ventilaciju, klimatizaciju, servis za hranu, ekološku obradu otpadnih stvari, te još mnogo toga. Svaka od njih pruža mogućnost primjene troškovno i elektroenergetski učinkovite tehnologije kako bi se smanjila ukupna potrošnja električne energije. Podaci su uglavnom ograničeni, ali nekoliko je studija pokazalo da se obično 5 do 7% električne energije proizvedene u parnim elektranama (ugljen, biomasa, plin) koristi na licu mjesta kako bi se omogućila proizvodnja električne energije. Manje se koristi u turbinskim elektranama s izgaranjem, a još manje u hidroelektranama i vjetroelektranama. Razni uređaji kao što su pumpe i ventilatori troše veliki dio energije na licu mjesta i stoga predstavljaju priliku za uštedu energije. Pumpe i ventilatori moraju se regulirati pomoću prigušnih ventila i prigušivača kako bi reagirali na različite tipove rada generatora i promjenjive klimatske uvjete.

3.2. Financijski utjecaj

Programi ili aktivnosti energetske učinkovitosti se prikazuju po svakom korisniku energije. Na nekim sustavima, energetska učinkovitost može biti najjeftiniji izvor energije; međutim, svaka aktivnost energetske učinkovitosti mora se vrednovati u svjetlu mogućih alternativa, utjecaja na okoliš i druge opcije energetske učinkovitosti. Sveukupna ekonomičnost će se razlikovati zbog varijacija vremena, opterećenja, troškova goriva, itd. Kada sustav nije učinkovit, da bi nadoknadio trošak energetske učinkovitosti, rezultat može biti veći trošak. U procjeni koristi i troškova aktivnosti na strani potražnje, jedan korisni kriterij koji se može koristiti jest utjecaj na ukupne troškove.

Na slici 4. se vidi koliko koja regija ulaže u prelazak sa konvencionalnih mreža na napredne mreže[8].

Suočavanje s energetske učinkovitom tehnologijom uključuje promicanje i usvajanje učinkovitosti krajnje uporabe tehnologija, te usvajanje tehnologije električnog napajanja kao zamjene za uporabu plina ili ulja. Troškovi i uštede uključuju široku paletu stavki kao što su marketing, oglašavanje i promocija, izravni poticaji, U mnogim slučajevima to čini najveći trošak energetske učinkovitost. Dodatna ekonomska korist koja se razvija podrazumijeva upotrebu energetske učinkovitost kao CO₂ kredit. To može imati ogroman utjecaj tamo gdje učinkovite električne tehnologije zamjenjuju neučinkovite tehnologije plina ili ulja.



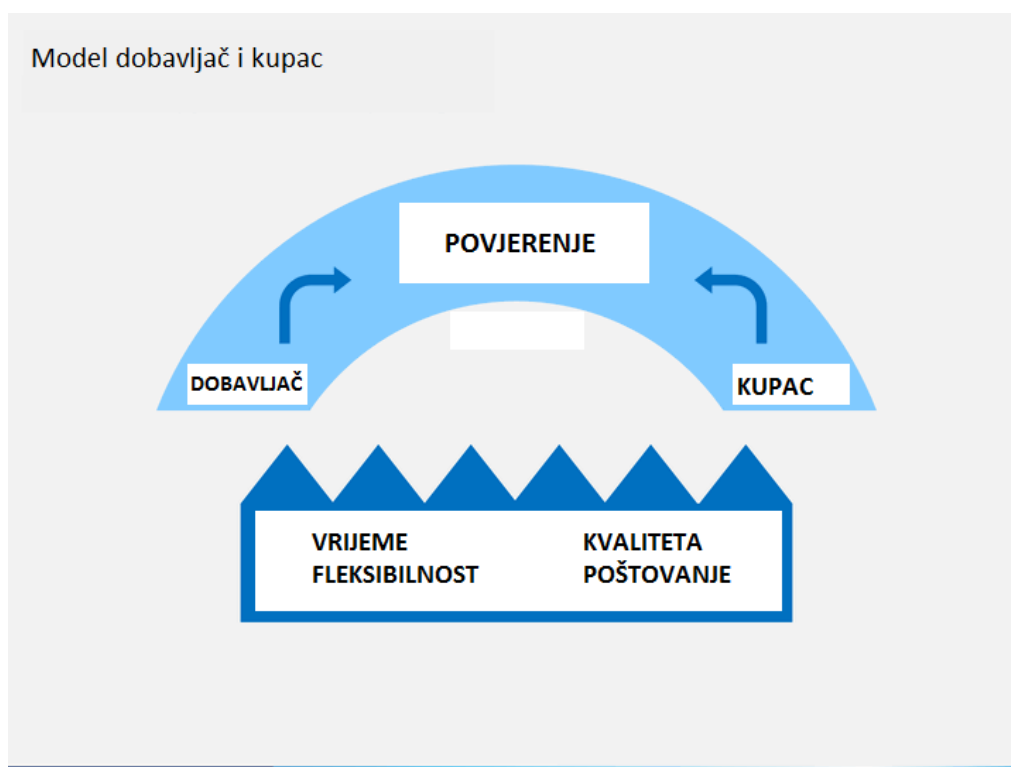
Slika 4: Grafički prikaz ulaganja u napredne mreže [9].

3.3. Implementacija naprednih mreža na tržište

Za dobrovoljne programe energetske učinkovitosti i odgovor na potražnju, kao što su oni koje bi mogle ponuditi tvrtke za pružanje usluga u energetici, uspjeh programa u postizanju visokih ciljeva energetske učinkovitosti ovisi o postignutoj penetraciji na tržištu. Planeri mogu odabrati različite metode za usvajanje potreba potrošača i prihvaćanje dobrovoljne energetske učinkovitosti programa. Metode se mogu široko klasificirati u sljedeće kategorije [10]:

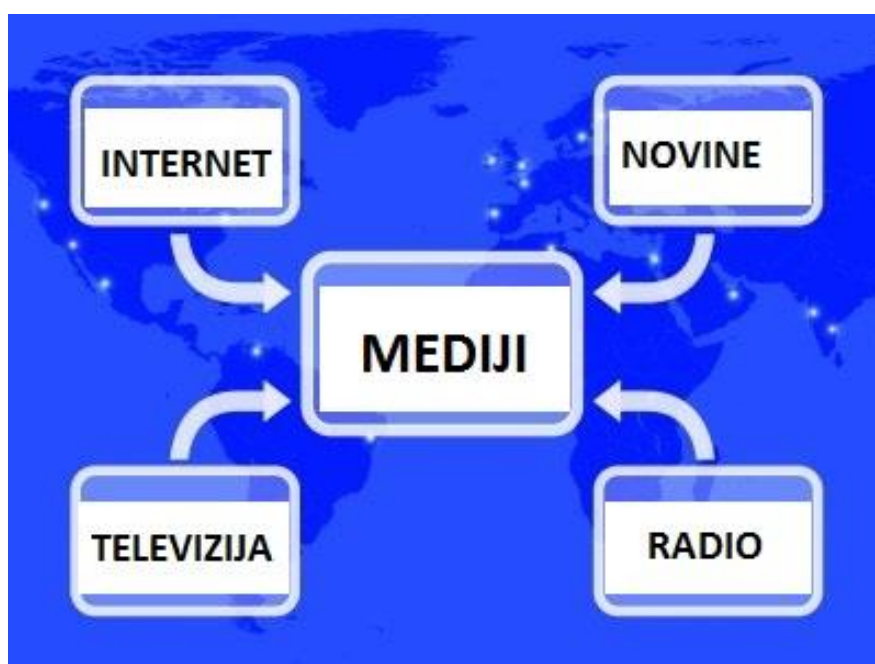
- Obrazovanje potrošača, što znači da se mnogi dobavljači energije i vlade oslanjaju na neki oblik obrazovanja potrošača kako bi promicali opću svijest o programima. Koriste se brošure, napomene, informacijski paketi, te obrazovni programi.

- Izravni kontakt potrošača, što je vidljivo na slici 5. Izravne tehnike kontaktiranja s potrošačima odnose se na komunikaciju licem u lice između dobavljača i korisnika, opskrbljivača energije ili predstavnika vlasti za poticanje prihvaćanja programa od strane potrošača. Dobavljači energije imaju dovoljno vremena kako bi zaposlenim marketinškim predstavnicima potrošačkih usluga pružili savjete o odabiru i radu aparata, dimenzioniranje sustava grijanja / hlađenja, osvjetljenja, čak i rasvjete domaće ekonomije.



Slika 5: Model dobavljač i kupac [11].

- Suradnja trgovinskih saveznika značajno doprinosi uspjehu mnogih programa energetske učinkovitosti. Trgovinski saveznik je jedan od onih koji doprinose uspjehu, te je definiran kao svaka organizacija koja može utjecati na transakcije između dobavljača i njegovih potrošača ili između implementatora i potrošača. Ovisno o vrsti organizacije trgovinskih saveza, obavlja se široki spektar usluga, uključujući razvoj standarda i procedura, tehnologija prijenosa, obuku, certifikaciju, marketing / prodaju, instalaciju, održavanje i popravak.
- Oglašavanje i promocija putem medija je metoda koju koriste dobavljači energije, vlada i energetske subjekti. Mediji koji se najčešće koriste za takvo oglašavanje su prikazani na slici 6.



Slika 6: Mediji – televizija, radio, novine i internet [12].

4. TRANZICIJA SA KONVENCIONALNIH NA NAPREDNE MREŽE

4.1. Napredak energetske sustava

Puno je napisano o optimizaciji energetske sustava, poboljšanja se stalno predlažu i vrednuju, a neka se na kraju i primjenjuju. Svjetska elektroenergetska infrastruktura, koja se sastoji od raznih izvora, skupa prijenosnih mreža i raznolikosti distribucijskog sustava, koji se razvio kroz vrijeme, pokušava optimizirati energetske sustave, te ih učiniti što boljima, a iza sebe ostaviti konvencionalne načine. Uz to, pokušava se razviti bolja elektroenergetska i komunalna poduzeća, te poboljšati njihove sustave. Energetski sustavi također nastaju zbog potrebe za opskrbom gradske rasvjete i električnih tramvaja u urbanim područjima. Sustavi su narasli zbog stvarne potražnje za električnom strujom. Tijekom proširenja, električni sustav ostaje do određene mjere isti kao i onaj koji se koristio prije 50 godina, tako da do velikih promjena nije ni dolazilo. Iako je to najsloženiji stroj ikad izgrađen, uglavnom se sastoji od jednostavnih transformatora, prekidača, dijelova kabela i vodiča. Iako se dodaju neki senzori, sustavi napajanja su povezani zajedno, mehanički kontrolirani i praćeni računalnom simulacijom koja je često jako spora. Kao rezultat toga, pouzdanost električnih usluga za domove i tvrtke je daleko od savršene. Na primjer, tijekom posljednjih deset godina svaki je potrošač u prosjeku u većini razvijenih zemalja bio bez električne energije za 100 do 200 minuta ili više svake sljedeće godine. Osim toga, kvaliteta ove usluge i dalje je opadala. Kako bi se postigla savršenost električne energije, inženjeri trebaju implementirati najučinkovitije i ekološki prihvatljivije uređaje koji su izvedivi i koji se mogu integrirati.

4.2. Savršen energetski sustav – napredna mreža

Koncept savršenog elektroenergetskog sustava mora početi s potrošačima, njihovim potrebama, praktičnosti i izboru pruženih usluga kako bi potrošač bio zadovoljan. Savršenstvo, na temelju perspektive potrošača, mora biti dizajn. Tradicionalni planeri elektroenergetskog sustava i praktičari shvatit će da je koncept savršenstva teško prihvatiti. Dostava savršene usluge električne energije čini se gotovo nemogućom i inherentno skupom što je nepraktičan pojam onima koji su ograničeni konvencionalnim sustavima. Razni istraživački timovi koristili su energetske stručnjake kako bi definirali savršen sustav električne energije. Takav energetski sustav treba osigurati apsolutnu i univerzalnu dostupnost energije u količini i kvaliteti potrebnoj za zadovoljavanje potreba svakog potrošača.

Kako bi pružio usluge svim korisnicima energije, napredni elektroenergetski sustav mora zadovoljavati sljedeće glavne ciljeve[13]:

- Biti pametan, osjetljiv, siguran.
- Održavanje pojedinih komponenti kod kojih je došlo do kvara bez prekidanja usluge
- Biti u stanju usredotočiti se na regionalne, specifične potrebe područja
- Biti u stanju zadovoljiti potrebe potrošača po razumnoj cijeni s minimalnim korištenjem resursa i minimalnim utjecajem na okoliš
- Povećati kvalitetu života i poboljšati ekonomsku produktivnost

4.3. Prednosti naprednih mreža

Uređaji za krajnje korištenje su polazna točka u dizajnu naprednih mreža. Oni su točka sučelja s energijom koju korisnik koristi i mehanizma kojim korisnik energije prima željene usluge kao što su osvjtljenje, topla voda, udobna prostorija (grijanje ili hlađenje) i zabava. Put do savršenog energetskog sustava može biti težak, ali kada su osnovne specifikacije i kriteriji postignuti, treba se usredotočiti na različite konfiguracije elektroenergetskog sustava koje se zamišlja. Također je važno prepoznati potrebu za inovacijama. Sustav naprednih mreža ima mnoge prednosti [14]:

- Pouzdanost i izvedenost kvalitete opreme i procesa je određena lokalno i stoga ne ovisi o masivnoj infrastrukturi za isporuku i proizvodnju energije. To je najfleksibilnija konfiguracija sustava jer sustav nije ovisan o postojećoj infrastrukturi. Stoga je idealan za razvoj sustava udaljenih korisnika napajanja, ali i za primjenu u sustavima koji su već razvijeni.
- inovacije u tehnologijama pohrane
- Postoje ogromne mogućnosti za uštedu energije kroz lokalnu optimizaciju zahtjeva za napajanje i minijaturizaciju tehnologija.
- Obnovljivi izvori energije (solarna energija, vjetar, drugi izvori) lako se mogu integrirati lokalno kao izvor energije za uređaj
- Kontrola nad potrošnjom električne energije i uvid u stanje računa

5. TEHNOLOGIJE NAPREDNIH MREŽA

5.1. Pametna električna vozila

Od početka 20. stoljeća, s uvođenjem motora s unutarnjim izgaranjem (ICE, eng. Internal Combustion Engine) i nakon bezbroj pokušaja kako bi se oživjelo takvo vozilo, električno vozilo (EV) je postalo osuđeno da ostane muzejski komad. Međutim, u posljednjem desetljeću se električna vozila ponovno uvode na tržište. Neki proizvođači su odabrali otvoreniji put te su pokušali razviti hibridna električna vozila (HEV) dok su drugi radije iskušali šansu u proizvodnji vozila sa baterijom (BEV). Istovremeno, neke su Europske zemlje oživotvorile pravila koja su imala cilj ukloniti barijere na tržištu koje su sprječavale implementiranje električnih vozila. Kao posljedica javlja se progresivno opadanje ICE vozila u Europskoj Uniji od 2004. godine.

Iako se broj EV danas sve više povećava, nisu svi sposobni integrirati ih u naprednu mrežu. Da bi se osigurala ta integracija, moraju se ispuniti neki od zahtjeva: prvi je iz perspektive vozila, a drugi iz perspektive napredne mreže. Što se tiče EV-a, nisu svi sposobni biti priključeni na električnu mrežu. Vezano na mreže, u Europi je većina njih sposobna za izvršenje osnovnog upravljanja procesom punjenja vozila kroz instalaciju određene baterije i punjača. Danas se najčešće koriste HEV vozila koja nisu u mogućnosti puniti bateriju putem pametnih mreža. Zbog toga ih proizvođači automobila zamjenjuju novijim modelima koji mogu biti direktno spojeni na mrežu, te tako puniti bateriju. Pretpostavlja se da će noviji modeli biti na tržištu za par godina[15].

5.2. Inteligentni elektronički uređaji

Pametni uređaj, kao što ime sugerira, elektronički je uređaj koji može povezati, dijeliti i komunicirati s korisnikom i drugim pametnim uređajima. Iako male veličine, pametni uređaj ima računalnu snagu od nekoliko gigabajta. To su interaktivni elektronički uređaji koji razumiju jednostavne naredbe koje korisnici šalju i pomoć su u svakodnevnim aktivnostima. Neki od najčešće korištenih pametnih uređaja su pametni telefoni, tableti, fableti, pametni satovi, pametne naočale i druga osobna elektronika. Iako su mnogi pametni uređaji mali i prijenosna su osobna elektronika, oni su zapravo definirani njihovom sposobnošću povezivanja s mrežom kako bi mogli komunicirati na daljinu. Mnogi televizori i hladnjaci također se smatraju pametnim uređajima[16].

5.3. Senzori

Inteligentni pametni senzor je mali, lagani sastavni dio napredne mreže koji služi kao stanica za otkrivanje u mreži senzora. Inteligentni senzori omogućuju daljinsko praćenje opreme kao što su transformatori i vodovi te upravljanje resursima na strani potrošnje. Napredni senzori mogu se koristiti za praćenje vremenskih uvjeta i temperature vodova, a zatim ih se može koristiti za izračunavanje nosivosti linije. Taj se proces naziva dinamična ocjena linije i omogućuje elektroprivrednim tvrtkama povećanje postojećih prijenosnih vodova. Senzori se također mogu koristiti u kućama i tvrtkama za povećanje energetske učinkovitosti. Napredni senzor ima četiri dijela: pretvornik, mikroprocesor, primopredajnik i izvor napajanja [17].

Mikroprocesor procesira i pohranjuje izlaz senzora. Primopredajnik, koji može biti ožičen ili bežičan, prima naredbe s centralnog računala i prenosi podatke na to računalo. Snaga svakog senzora proizlazi iz električnog napajanja ili iz baterije. Tvrtke poput GE, LG i Whirlpool već su objavile svoju predanost izradi kućanskih aparata koji koriste razne pametne senzore u svom sustavu. Napredni senzori će povezati ove uređaje s pametnim brojilima, pružajući vidljivost potrošnje energije u stvarnom vremenu. Energetske tvrtke mogu koristiti ove informacije za praćenje kretanja cijena u stvarnom vremenu, a potrošači mogu koristiti informacije kako bi smanjili potrošnju energije.

5.4. Pametna brojila

Napredno, odnosno pametno brojilo jest brojilo koje je u mogućnosti pratiti podatke o potrošnji struje koje će potom uz ostale važne podatke slati u distribucijski centar električne energije. Dakle, potrošnja struje postaje sasvim transparentna, a uvid u potrošnju omogućava i bolju procjenu, te efikasnije planiranje proizvodnje i distribucije struje. Napredno brojilo u potpunosti regulira potrošnju energije, a ako ona prijeđe granice, automatski je korisnik obaviješten putem telefona ili računala. Kućanski uređaji koji preopterećuju mrežu ili stvaraju preveliku potrošnju bit će podešeni ili isključeni kako bi potrošnja bila optimalno raspoređena. U slučaju izbivanja iz kuće, korisnicima je omogućena opcija odabira tzv. žute, crvene ili zelene tarife. Odabirom određene tarife, distribucijski centar zaprima obavijest kako energiju namijenjenu navedenom korisniku može preusmjeriti na drugo područje i drugog korisnika.

Skandinavske zemlje koje su već uvele pametne energetske mreže bilježe pozitivna iskustva s naprednom mrežom. Također, diljem Europe se provode analize isplativosti pametnih brojila, a većina zemalja ih ocjenjuje visokom ocjenom. Napredne mreže su jedan od prioritarnih projekata Europske Unije, koja ima cilj do 2020. opskrbiti 80 posto čitavog područja EU pametnim brojilima. Napredna brojila samo su korak do razvoja koncepta očuvanja energije a upravo to i jest budućnost energetskog sektora[18].

5.5. Pametne trafostanice

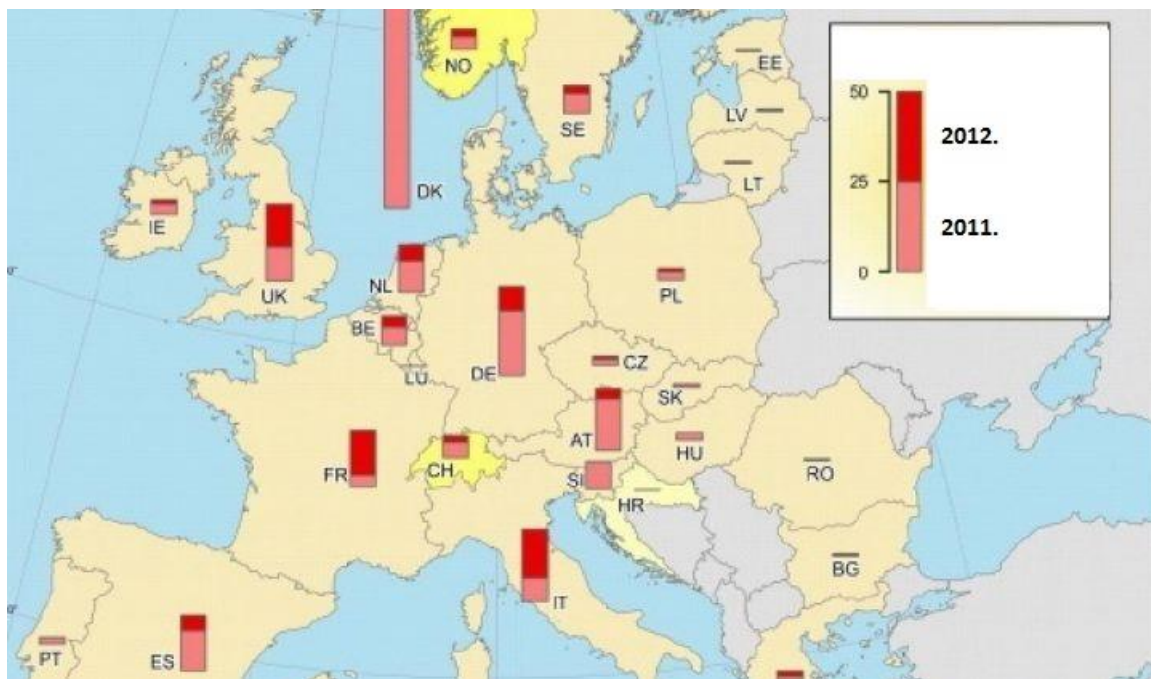
Kako se potražnja za obnovljivom energijom povećava, a obrasci za promjenu ponude i potražnje mijenjaju, počinju se graditi pametne digitalne trafostanice. Operatori prijenosne i distribucijske mreže električne energije pripremaju se za opremanje električnih stanica s digitalnom kontrolom i komunikacijom koje nose svjetlovodne mreže. To će omogućiti bržu komunikaciju, poboljšanu sigurnost i još mnogo toga. Dok se napredna trafostanica implementira važno je razmotriti bitnu ulogu rezervne baterije. Sustavi akumulatora mogu se naći u svakoj stanici i mogu osigurati od par minuta do par sati rezervne snage tijekom nestanka struje. Oni mogu pružiti napajanje prekidačima za promjenu konfiguracije mreže, pomažu izolirati linije i očistiti pogreške prije nego što se moć sigurno obnovi. Također mogu napajati komunikacijsku i upravljačku opremu koja postaje sve važnija u pametnim digitalnim trafostanicama. Usvajanjem tehnologije baterije koja je kompatibilna s digitalnom kontrolom i komunikacijom, operatori mogu bolje integrirati njihovu osnovnu sigurnosnu kopiju[19].

6. TRANZICIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

6.1. Napredne mreže u Europi

Zemlje regije Srednje i Istočne Europe (CEE) pokušavaju pratiti zemlje Zapadne Europe koje su već implementirale napredne sustave i mreže. Na slici 7. jasno se vidi koliko su zemlje Zapadne Europe razvijenije u odnosu na Istočnu Europu. Do 2027. godine, deset od dvanaest ključnih zemalja (sve osim Hrvatske i Litve) imat će dovršene implementacije pametnih mjerača od najmanje 80%, a mnogi će imati implementiranu drugu naprednu infrastrukturu napredne mreže kao što su automatizacija distribucije, distribuiranih obnovljivih izvora energije i infrastrukture za punjenje električnih vozila. Sve u svemu, tržište napredne mreže iznosi 28,6 milijardi dolara ulaganja u idućih deset godina. Takve implementacije će obuhvaćati 12 zemalja Srednje i Istočne Europe, kao i šest dodatnih zemalja. To uključuje 11 zemalja u Srednjoj i Istočnoj Europi koje su sada dio Europske unije, ali sve do početka 1990-ih bile su komunističke države, kao i Turska, Albanija i ostale bivše jugoslavenske zemlje.

Sve ove zemlje su prošle radikalno restrukturiranje industrije tijekom posljednja dva desetljeća, a u nekim slučajevima i dalje su u procesu pune liberalizacije. U većini zemalja država još uvijek igra ulogu u jednom ili više segmenata elektroprivrede. Ukupna infrastruktura za napajanje u mnogim je slučajevima zastarjela i nije kompatibilna s potpuno integriranim europskim tržištem električne energije. Tržište električne energije CEE regije stoga slijedi promjene koje korisnicima pružaju priliku za ulaganje u naprednu mrežnu infrastrukturu u procesu nadogradnje svojih mreža [20].



Slika 7: Razvoj naprednih mreža u Europi [21].

6.2. Europski elektroenergetski sustav

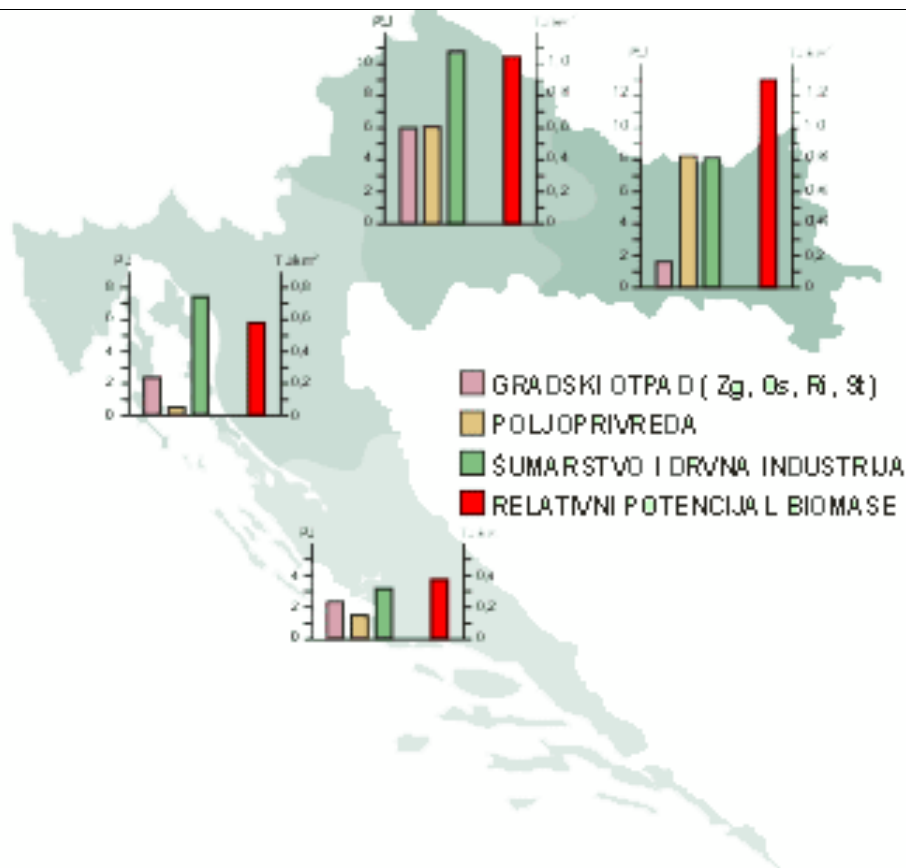
Europski elektroenergetski sustav jedan je od najvećih tehničkih sustava u svijetu. Ima 430 milijuna korisnika i 584 gigavata instaliranog kapaciteta te oko 5,2 milijuna kilometara mreže visokog, srednjeg i niskog napona. Godine 2000. procijenjeno je da će do 2030. godine biti potrebno investirati u zamjenu 290 gigavata dotrajalog i izgradnju 648 gigavata novog kapaciteta, kako bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom. Rast na strani potrošnje zahtijeva i rješavanje pitanja zagušenja mreže.

Europska tehnologijska platforma za napredne mreže budućnosti (ETP Smart Grids) započela je svoj rad još 2005. godine. Glavni cilj je bio formulirati i promicati viziju za razvoj europske elektroenergetske mreže do 2020. godine. Kako bi se napredna mreža implementirala u Hrvatskoj vizija naprednih mreža i njezine tehnologije se moraju najviše temeljiti na programima istraživanja, razvoja i demonstracije. Takve promjene prikazuju pravce prema mreži elektroenergetskog napajanja koja učinkovito može zadovoljiti buduće potrebe na području cijele Hrvatske. Ključni elementi vizije naprednih elektroenergetskih mreža u RH su[22]:

- stvaranje alata preko dokazanih tehničkih rješenja koji se mogu brzo razvijati uz što manje troškove, a istovremeno omogućavajući postojećim mrežama da budu spremne prihvatiti novu energije iz svih energetske izvora
- usklađivanje regulacijskih i komercijalnih okvira u Europi kako bi se olakšalo prekograničnu trgovinu, tj. korištenje energija i mrežnih servisa, istodobno osiguravajući široku paletu poslovanja
- uspostava zajedničkih tehničkih standarda i protokola koji će osigurati otvoren pristup, omogućavajući razvoj opreme od bilo kojeg izabranog proizvođača
- razvijanje informacija, računalnih i telekomunikacijskih sustava koji omogućuju tvrtkama koristiti inovativne usluge koje će dovesti do poboljšanja učinkovitosti i unaprijediti njihove usluge
- osigurati operativna sučelja starih i novih dizajna mrežne opreme kako bi se osigurala interoperabilnost automatizacije i kontrole.

6.3. Energetski potencijal u Republici Hrvatskoj

Sadašnji udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u Hrvatskoj je vrlo visok, oko 50%, najviše zbog hidroelektrana. Ipak, očekuje se da će udio obnovljivih izvora morati rasti, a učinkovite strategije moraju se razmotriti i usvojiti. Relativni potencijal biomase također raste što se vidi na slici 8 koja također prikazuje i visok potencijal šumarstva i drvne industrije. Najvažnija zapreka za širu primjenu obnovljivih izvora energije u proizvodnji energije je njihov trošak koji je još uvijek iznad onih uobičajenih izvora energije. Budući da tržište energije trenutno prolazi kroz proces liberalizacije, moraju se usvojiti mehanizmi podrške koji su kompatibilni s filozofijom otvorenog tržišta [23].



Slika 8: Energetski potencijal u RH [24].

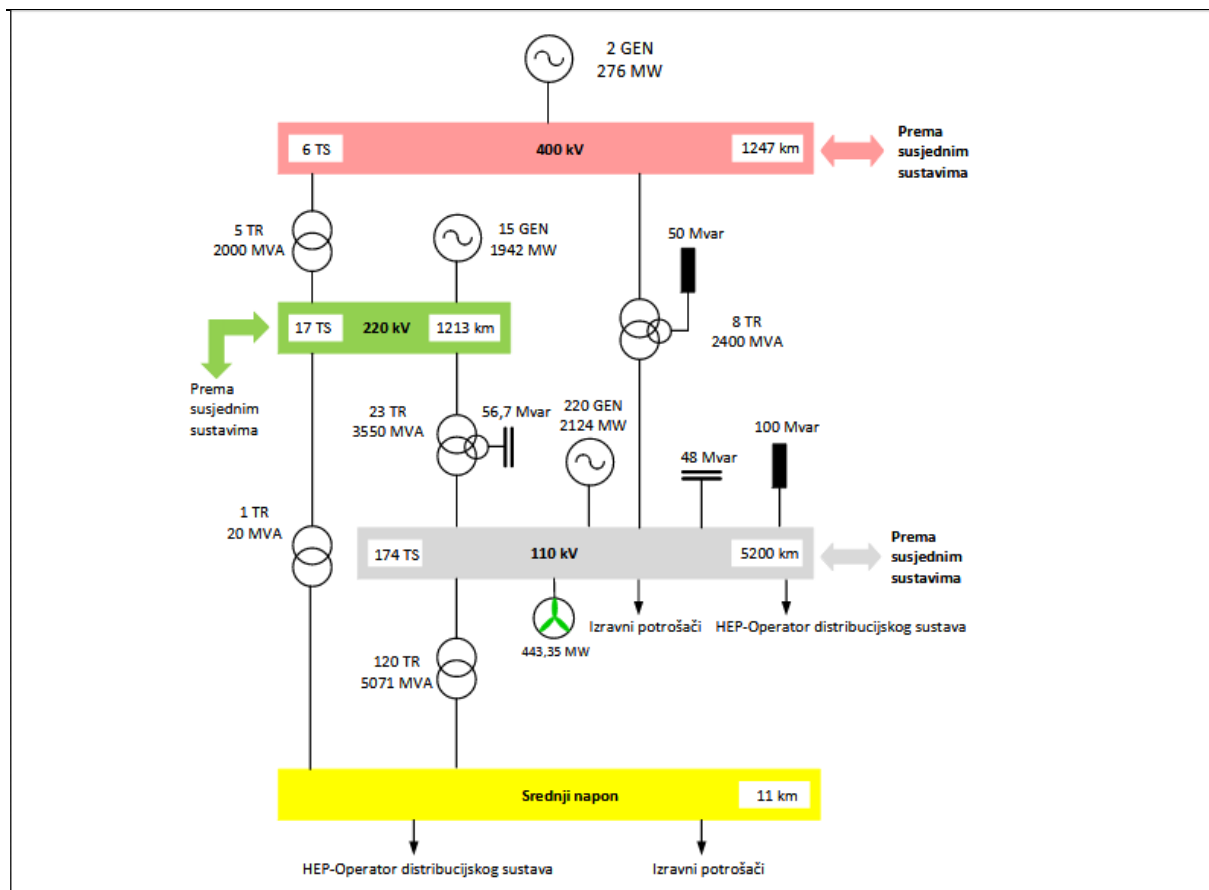
6.4. Postojeća elektroenergetska mreža u RH

Hrvatska elektroprivreda je glavni dobavljač električne energije u Hrvatskoj. Hrvatski elektroenergetski sustav nije samo povezan međusobno u državi već i sa drugim zemljama u regiji. Dalekovodi čija je naponska razina do 400 kV povezuje Hrvatsku sa Bosnom i Hercegovinom, Srbijom, Mađarskom i Slovenijom[25].

Hrvatska prijenosna mreža je umrežena u 6 postrojenja sa razinom od 400 kV, te u 17 postrojenja sa razinom od 220 kV.

Za hrvatski sustav prijenosa karakteristična je visoka instalirana snaga u transformatorima, a cijeli sustav je prikazan na slici 9. Pojedinačne snage instaliranih transformatora iznose:

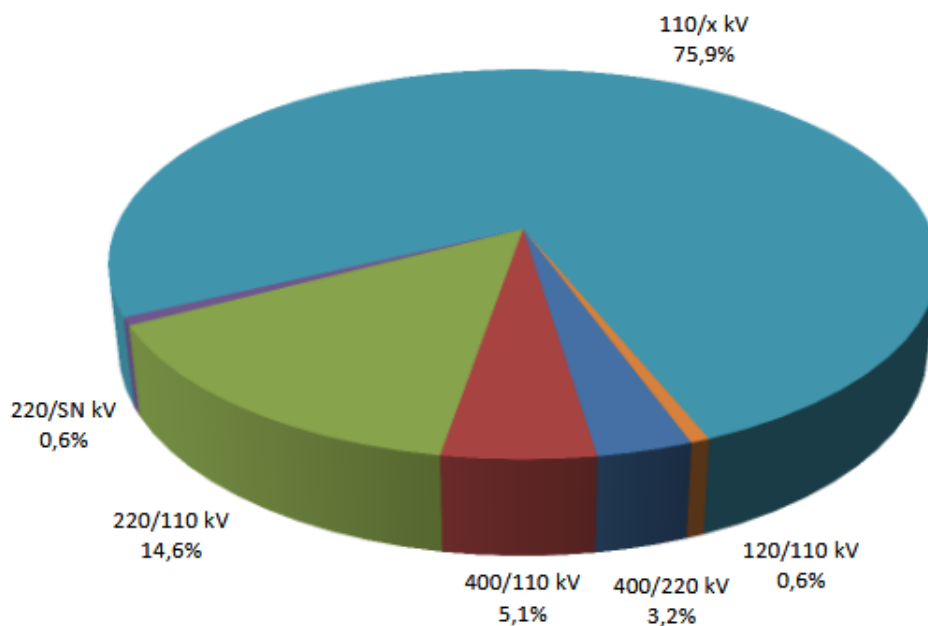
- 400 MVA (400/220 kV), 300 MVA (400/110 kV),
- 150 MVA (220/110 kV),
- 63 MVA, 40 MVA, 31.5 MVA, 20 MVA, 16 MVA (110/x kV).



Slika 9: Stanje hrvatskog elektroenergetskog sustava krajem 2016. Godine [26].

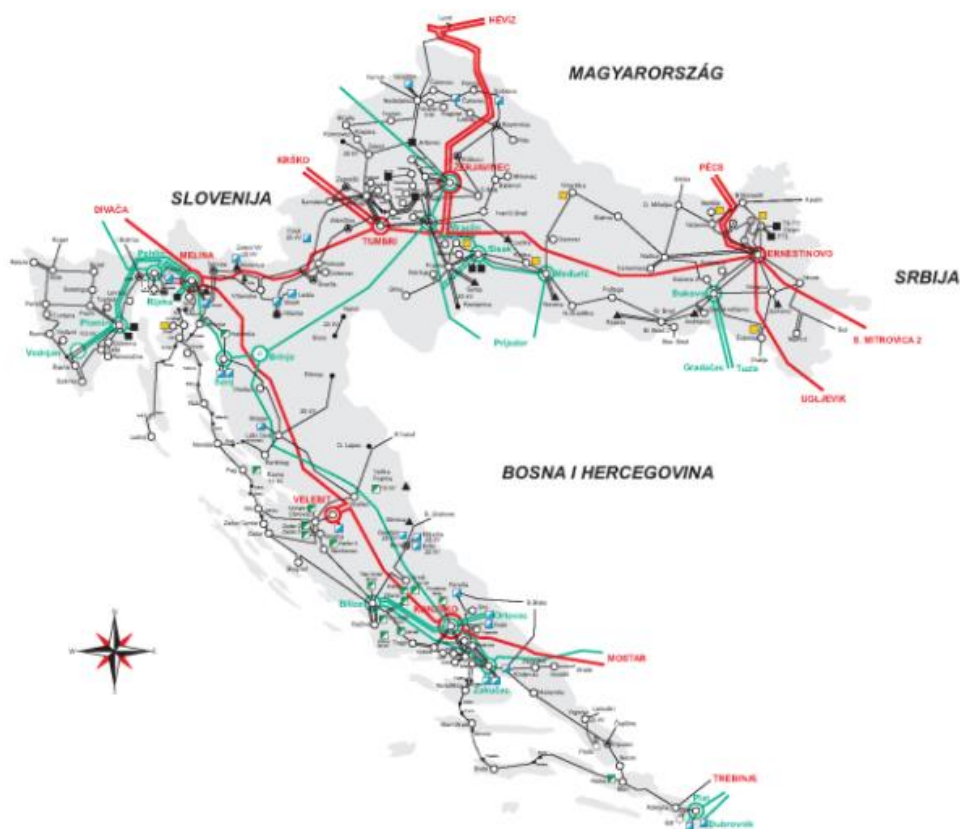
Slika 10 prikazuje udjele broja pojedinih transformacija u ukupnom broju transformatorskih stanica u Republici Hrvatskoj. Transformatori su dijelom izvedeni kao tronamotni, pri čemu se tercijar u pravilu ne koristi za prijenos električne energije. Svi energetske transformatori 400/x kV i 220/x kV izvedeni su kao regulacijski. Pojedini transformatori 400/110 kV imaju mogućnost vršenja regulacije ili u beznaponskom stanju ili pod teretom[27].

Regulacijske sklopke su uglavnom smještene na primarnim stranama s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u opsegu od $\pm 2 \times 2.5 \%$ ili $12 \times 1.25 \%$ (400/110 kV), te $\pm 12 \times 1.25 \%$ (220/110 kV), a regulira se napon sekundarne strane. Transformator 400/220 kV u TS 400/220/110 kV Žerjavinec i transformator 220/110 kV u TS 220/110/35 kV Senj imaju ugrađenu mogućnost regulacije kuta/djelatne snage. TS 400/110 kV Ernestinovo opremljena je s dva regulacijska transformatora 400/110 kV[28].



Slika 10: Udjeli transformacija u RH [29].

Prijenosna mreža RH koja je prikazana na slici 11. dovoljno je izgrađena da omogući značajne razmjene (prvenstveno uvoz) sa susjednim elektroenergetskim sustavima (EES). Značajne količine energije sa zadovoljavajućom sigurnošću uvoze se iz smjera EES Slovenije (NE Krško), EES BiH, te iz smjera Mađarske. Transakcije na tržištu električne energije i moguće razmjene između pojedinih zemalja. Jugoistočne Europe, te Srednje i Zapadne Europe (prvenstveno Italije kao električnom energijom izrazito deficitarne zemlje), dovode do novih okolnosti u pogonu prijenosne mreže RH. Značajan tehnički problem u prijenosnoj mreži vezan je za slabe mogućnosti regulacije napona i jalove snage prvenstveno na mreži 400 kV i 220 kV.



Slika 11: Prijenosna mreža RH [29].

6.5. Napredne mreže u RH

U posljednjih nekoliko godina došlo je do rasta svijesti u industriji opskrbe električnom energijom o potrebi da se redizajniraju europske elektroenergetske mreže kako bi se zadovoljile potrebe kupaca u 21. stoljeću. Mnoge države članice, među kojima se nalazi i Hrvatska, već su usmjerene prema ovom izazovu i surađuju međusobno s drugima u određenim područjima. Između ostaloga, njihovi glavni ciljevi su razviti zajedničku viziju za elektroenergetske mreže budućnosti koja je u potpunosti usklađena sa širim europskim ciljevima politike. Također, jedan od ciljeva je identifikacija potreba istraživanja i razvijanje podrške za povećanim javnim i privatnim istraživanjem električnih mreža. Uspostava stabilnosti i paralelnosti između tekućih projekata i novih europskih, nacionalnih i regionalnih programa u prijenosu električne energije i distributivnih sustava je isto tako jedan od ciljeva dionika iz sektora elektroenergetskih mreža, kao što je zasigurno jedan od najvažnijih i provedba strateškog plana istraživanja. Takvi projekti potiču angažman više neovisnih stranaka, na nacionalnoj i europskoj razini, kako bi se osigurala učinkovita inovacija u Republici Hrvatskoj za iskorištavanje novih znanja [30].

6.6. Plan razvoja Hrvatske mreže

Prilikom određivanja optimalnog razvoja naprednih mreža u idućem razdoblju nastojalo se zadovoljiti neke principe. Neki od njih su postizanje zadovoljavajuće sigurnosti opskrbe kupaca na teritoriju RH, postizanje zadovoljavajuće raspoloživosti i dostatnosti hrvatske mreže za nesmetano odvijanje aktivnosti svih sudionika na tržištu električne energije, te omogućavanje priključka novih korisnika na prienosnu mrežu pod jednakim, transparentnim i nediskriminirajućim uvjetima. Integracija obnovljivih izvora energije u sustavu naprednih mreža, u cilju ispunjenja obaveza koje je RH preuzela ulaskom u EU, definira konfiguracije mreže u budućim vremenskim presjecima koja će biti dovoljno fleksibilna i elastična da omogući ispunjenje prethodno navedenih zahtjeva u što većem rasponu kretanja nesigurnih utjecajnih faktora.

Prethodno nabrojane strateške odrednice ispunit će se provođenjem sljedećih aktivnosti[30]:

- Kontinuirana ulaganja u zamjenu i rekonstrukcije dotrajalih jedinica konvencionalne mreže.
- Ulaganja u izgradnju novih jedinica mreže, kao što su vodovi, transformatori, ITC infrastruktura, uređaji za kompenzaciju reaktivne snage, uređaji za regulaciju aktivne snage i ostalo.
- Ulaganja u zahvate koji će omogućiti bolje iskorištavanje postojećih, odnosno izgradnju neophodnih novih, prekograničnih kapaciteta, koristeći naknade prikupljene kroz alokaciju prekograničnih kapaciteta.
- Primjenu modernih tehnologija u prijenosu električne energije, kao što su visokotemperaturni vodiči (HTLS vodiči) u revitalizaciji i povećanju prienosne moći postojećih dalekovoda, ugradnja uređaja baziranih na energetskej elektronici ili regulacijskih konvencionalnih uređaja za rješavanje problema previsokih napona u prienosnoj mreži, ugradnja mrežnih transformatora s mogućnosti zakretanja faza, itd.
- Stalno unaprjeđenje i usavršavanje vlastitih kadrova

Kao najveće rizike u uspješnom ostvarenju prethodno nabrojanih strateških odrednica i planiranih aktivnosti može se identificirati neizvjesna gospodarska kretanja u RH, prostorno - planska ograničenja i ekološke zahtjeve, nesigurnosti vezane za izgradnju novih proizvodnih postrojenja, te neizvjesnost stabilnog i dostatnog financiranja potrebnih aktivnosti.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je prikazati što je napredna mreža, koje su komponente i tehnologije koje se koriste i od kojih se sastoji napredna mreža, te koje su prednosti i razlozi za prijelaz u naprednu mrežu. Napredna mreža je nadogradnja na postojeću elektroenergetsku mrežu i osigurava postizanje budućih sigurnosnih standarda, neprekidan i siguran dotok električne energije i efikasno upravljanje elektroenergetskim sustavom. Korisnici će imati bolji pregled svojih računa, te će moći motriti potrošnju električne energije u kućanstvu svakodnevno, dajući korisnicima informacije i cijene električne energije u stvarnom vremenu. Napredna će mreža značajno smanjiti ukupnu potrošnju električne energije pri raznim opterećenjima. Dovedi će do povećanja kapaciteta postojećih prijenosnih vodova i smanjenja gubitaka na prijenosnim i distributivnim vodovima. Ukoliko dođe do kvara, elektroprivreda će na jednostavan način očitati lokaciju kvara. Time više neće biti potrebe za slanjem djelatnika na teren kako bi ručno provjerili gdje je kvar. Sa sve većim brojem električnih vozila na tržištu, korisnici će moći nepotrošenu energiju iz vozila vraćati u mrežu i time ostvariti razne koristi ili neke pogodnosti od strane elektroprivrede. Kako bi se prethodno nabrojani elementi uspjeli ostvariti potrebno je imati dovoljno razvijeno gospodarstvo koje podupire projektiranje novih tehnologija naprednih mreža. Uz to, ekološki zahtjevi moraju biti prihvatljivi kako ne bi došlo do narušavanja prirode, te zbog toga svi sudionici napredne mreže moraju zajedničkim naporima raditi kako bi se takav projekt ostvario.

8. LITERATURA

- [1] Europa - Smart grid and meters, s Interneta, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters>, 5.7.2018.
- [2] Abhishek Kumar Gupta: „Smart Grid Asia“, <https://www.slideshare.net/AbhishekKumarGupta1/smart-grid-in-india>, 6.7.2018.
- [3] ElectriNet - Electric Power Research Institute, s Interneta, <http://mydocs.epri.com/docs/TI/Electrinet.pdf>, 6.7.2107.
- [4] Smart Grid – An introduction, s Interneta, <https://image.slidesharecdn.com/smartgrid-160224172537/95/smart-grid-5-638.jpg?cb=1456334757> 6.7.2018.
- [5] IntelliGridSm Energy Engineering, s Interneta, <http://what-when-how.com/energy-engineering/intelligrid-sm-energy-engineering> , 7.7.2018.
- [6] Charlene Fowler: „Green Tech Media – Smart Grid Market“, 2013, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/smart-grid-market-to-surpass-400-billion-worldwide-by-2020#gs.JzBH7Uo> 5.7.2018.
- [7] What is Smart Grid, s Interneta, <https://image.slidesharecdn.com/istunit-161204100911/95/what-is-smart-grid-16-638.jpg?cb=1480846586> 9.7.2018.
- [8] Circutor - Advantages of Smart Grid, s Interneta <http://circutor.com/en/documentatiton/articles/4162-advantages-of-smart-grids>, 6.7.2018.
- [9] Jessica Lyons Hardcastle: „Environmental Leader“, 2012., <https://www.environmentalleader.com/2012/09/smart-grid-data-analytics-spending-to-total-more-than-34bn-through-2020/> 9.7.2018.
- [10] European Smart Grid Market, s Interneta, https://ww2.frost.com/files/2314/7151/3698/European_Smart_grid_market.pdf), 10.7.2018.
- [11] SketchBubble, s Interneta, <https://www.sketchbubble.com/en/presentation-customer-supplier-model.html>, 13.7.2018.
- [12] IntelliGridSm - Energy Engineering, s Interneta, <http://what-when-how.com/energy-engineering/intelligrid-sm-energy-engineering>, 10.7.2018.
- [13] M. Cattaneo, J. Ferchow, A.Schulze: „Greentechmedia - Electric Cars“, 2012., <https://www.greentechmedia.com/articles/read/electric-cars-the-tipping-point-for-the-smart-grid>, 12.7.2018.
- [14] Wikipedia – Smart Device, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_device 13.7.2018.
- [15] Sensormag – Smart Sensors, s Interneta, <https://www.sensormag.com/components/smart-sensors-fulfilling-promise-io> 14.7.2018.
- [16] Liberoportal – Pametna brojila, s Interneta, <https://www.liberoportal.hr/novost/9307/Vijesti/PAMETNA-BROJILA-U-domove-sti%C5%BEu-nova-brojila-za-struju> 15.7.2018.
- [17] 123rf - Media Flow Diagram, s Interneta, https://www.123rf.com/photo_13481072_media-flow-diagram-showing-internet-television-newspapers-and-radio.html 16.7.2018.
- [18] Elp – Smart Substations, s Interneta, https://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-22/issue-8/features/smart-substations.html 15.7.2018.

-
- [19] McKinsey, s Interneta, <https://www.mckinsey.com>), 14.7.2018
- [20] Euro-CASE Discussion Paper Electricity production, transmission and storage - Challenges for the future European electricity system, 16.7.2018
- [21] M. Cattaneo, J. Ferchow, A.Schulze: „Greentechmedia – Status Update“, 2012. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/european-smart-grids-a-2012-status-update> , 27.7.2018.
- [22] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf 28.7.2018.
- [23] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf 28.7.2018.
- [24] Izvori Energije – Bioenergija <http://www.izvorienergije.com/bioenergija.html>, 29.7.2018.
- [25] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf 28.7.2018.
- [26] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf 28.7.2018.
- [27] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf), 29.7.2018.
- [28] BalkanGreenEnergyNews, s Interneta, <https://balkangreenenergynews.com/croatia-launches-project-upgrade-power-grid/>, 2.8.2018.
- [29] Hrvatski operater prijenosnog sustava, s Interneta https://www.hera.hr/hr/docs/2017/Prijedlog_2017-10-03_01.pdf 3.8.2018.
- [30] Željko Tomšić, Marijana Pongrašić: „Ekonomska analiza dobiti i troškova implementacije naprednih mreža“, 3.8.2018.